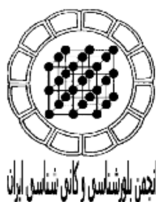
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۵، از صفحهٔ ۴۳۵ تا ۴۴۸



بررسی شیمی کانی و دماسنجی در اسکارن سرویان (استان مرکزی، شهرستان دلیجان)

رضا زارعی سهامیه، حسن زمانیان، امیر پازوکی، نرگس بارانی، فرهاد زال*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۴/۷/۱۱، نسخه نهایی: ۹۴/۹/۲۷)

چکیده: اسکارن مغناطیسی شده‌ی سرویان در نتیجه‌ی نفوذ توده‌ی گرانودیوریتی به درون سنگ آهک‌های الیگومیوسن تشکیل شده است. این کانسار یک اسکارن کلسیک بوده و بخش برون اسکارن آن گسترش بیشتری یافته است. کانی‌های گارنت و پیروکسن دو کانی شاخص کانسار اسکارن مگنتیتی سرویان بوده و به‌وسیله‌ی شاره‌های حاوی Mg، Si و Fe باقیمانده از تبلور ماگما تشکیل شده اند. از این کانی‌ها که به‌طور گسترده‌ای در هاله‌ی دگرنهادی ایجاد شده در سنگ میزبان مشاهده می‌شوند، می‌توان در تعیین شرایط دما و فشار حاکم بر فرآیند اسکارنی شدن استفاده کرد. گارنت‌های موجود در اسکارن سرویان از نوع ناویژه - آندرادیت بوده و از Fe و Ca غنی شده و از Mg و Mn تهی‌تر هستند. بررسی‌های ریزپردازشی و بررسی چگونگی تغییرات مقادیر CaO, Al_2O_3, MnO و MgO, FeO در گارنت‌های منطقه‌بندی شده از هسته به حاشیه، نشان‌دهنده‌ی غنی‌شدگی هسته گارنت‌ها از گروسولار و قسمت‌های حاشیه‌ای از آندرادیت است. ترکیب شیمیایی کانی‌های گارنت و پیروکسن این کانسار با اسکارن‌های آهن‌دار سازگاری دارد. پیروکسن‌های منطقه از نوع دیوپسید – هدنبرژیت غنی از Ca هستند. دما در مرحله‌ی پیشرونده تشکیل اسکارن سرویان که طی آن کانی‌های بی‌آب مانند پیروکسن و گارنت تشکیل شده‌اند، در گستره‌ی رخساره گرمابی آلبیت - اپیدوت هورنفلس و هورنبلند هورنفلس بوده و بر اساس دماسنجی زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن با دمای بین ۳۷۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای آن تعیین شده است. بررسی‌های شاره‌های درگیر نشان می‌دهد که کانه‌زایی آهن در مرحله‌ی پسرونده اسکارنی شدن و در دماهای بین ۳۸۰ تا ۴۰۰ درجه-ی سانتیگراد انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: *اسکارن؛ سرویان؛ گارنت؛ پیروکسن؛ شاره‌های درگیر.*

مقدمه

اسکارن به سنگ دگرگونی همبری گفته می‌شود که از جانشینی عناصر Si, Al, Fe و Mg در سنگ‌های کربناتی به وجود می‌آید. عواملی مانند نوع ماگما، عمق جایگزینی، قدرت کاهندگی، ترکیب سنگ دیواره، فاصله‌ی افق‌های کربناتی از خاستگاه ماگمایی و شدت دخالت آب‌های جوی سبب متفاوت بودن کانسارهای اسکارن‌ها می‌شوند [۱]. گارنت و پیروکسن مهم‌ترین کانی‌های سازنده‌ی اسکارن‌ها هستند. منطقه‌بندی و نسل‌های متنوع کانی‌های اسکارنی تابع تغییرات فیزیکی و شیمیایی شاره‌های سازنده‌ی این نوع سنگ‌هاست و دی‌اکسید کربن مهم‌ترین سازنده‌ی این شاره‌هاست [۲]. کانی‌شناسی وسیله‌ای مهم در تشخیص و تعیین انواع اسکارن‌هاست. امروزه با بررسی شیمی کانی‌های یک توده‌ی نفوذی می‌توان شرایط دما و فشار و عمق تشکیل آن را براورد کرد. بررسی‌هایی مانند [۳] که بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی و محاسبات و مدل-سازی ترمودینامیکی و نیز تجزیه‌ی شیمیای کانی‌ها پایه‌ریزی شده است به شناخت بهتر شرایط دما و فشار حاکم بر سنگ‌ها کمک زیادی کرد. دما _فشار سنج‌ها بر اساس چگونگی توزیع عناصر در ساختار کانی‌ها یا طی تبادل‌های شیمیایی مطرح می‌شود و دماسنج گارنت _ پیروکسن نوعی از آنهاست.

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۹۰۶۷۵۳۹، پست الکترونیکی: f_z60@ymail.com

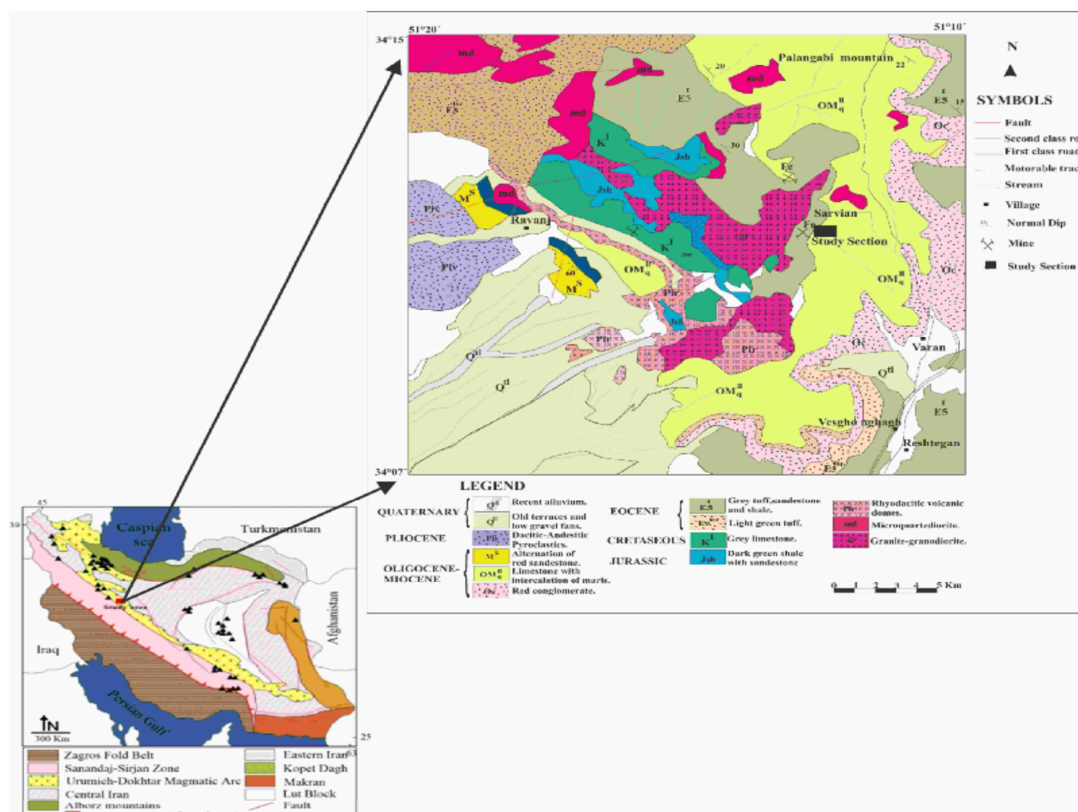
در این بررسی سعی شده است تا بر اساس بررسی شاره‌های درگیر و ریزپردازش کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ به بررسی شرایط محیطی و ویژگی‌های شاره‌های موثر در فرایند اسکارن، شیمی کانی‌ها، تعیین نام دقیق کانی‌ها و محاسبه‌ی شرایط دما - فشار در زمان تشکیل کانی‌ها پرداخته شود.

زمین شناسی و سنگ‌نگاری منطقه

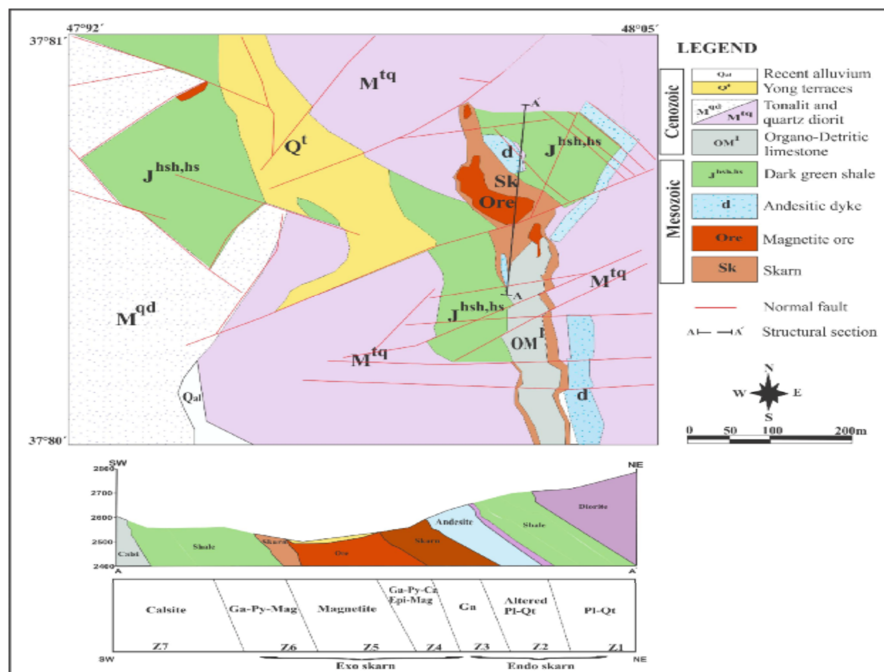
گستره‌ی مورد بررسی در استان مرکزی، و در شمال شرقی شهرستان دلیجان و به فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری این شهرستان، بین طول‌های جغرافیایی ´´۵۵ ´۴۵ °۵۰ تا ´´۱۵ ´۴۷ °۵۰ و عرض‌های جغرافیایی ´´۴۱ ´۸ °۳۴ تا ´´۳۸ ´۱۰ °۳۴ قرار گرفته است. از نظر تقسیمات منطقه‌های ساختاری ایران، بخشی از منطقه‌ی ایران مرکزی است که در محل زاویه، چین خوردگی البرز و زاگرس و در زیر پهنه آتشفشانی ارومیه - دختر واقع شده است و بخشی از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک را شامل می‌شود. بر اساس گزارش مربوط به نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک (شکل ۱)، واحدهای سنگی منطقه شامل ردیفی از سنگ‌های پرمین تا ترشیری همراه با رسوب‌های کواترنری و حجم قابل توجهی از سنگ‌های آذرین بیرونی (گدازه و آذرآواری) و درونی است [۴].

توده نفوذی: براساس بررسی‌های میکروسکوپی و ژئوشیمی [۵] روی توده‌ی نفوذی، بیشتر سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی توده نفوذی از نوع گرانودیوریت، دیوریت و گابرو تشخیص داده شد.

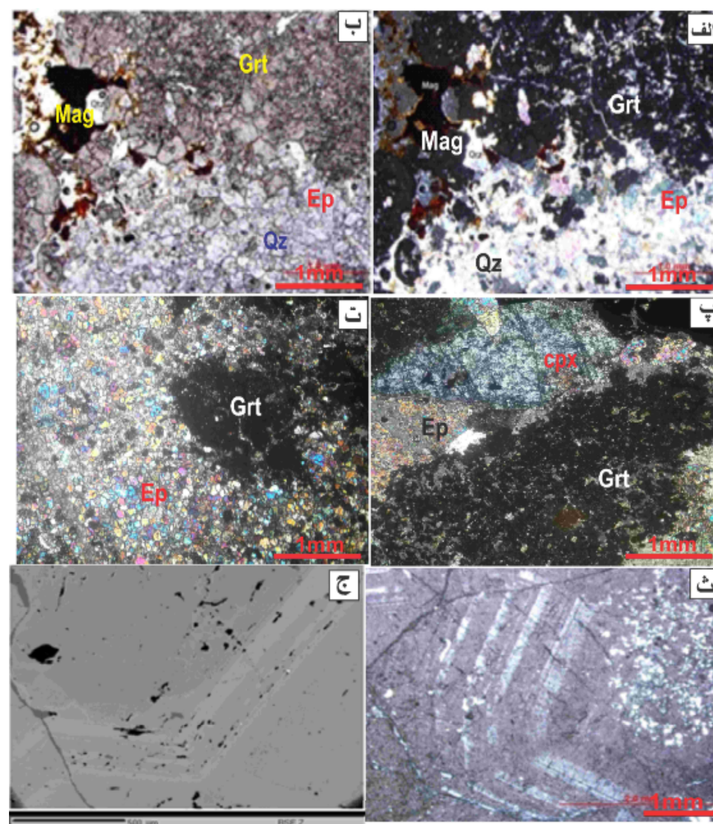
واحد sk (اسکارن): این واحد سنگی به‌صورت نوار باریکی در تماس واحد نفوذی دیوریتی با آهک‌های الیگومیوسن [۶] و سیلتستون رخنمون دارد. در برخی نقاط، کانی‌سازی آهن و میان لایه‌هایی از آهک متبلور مشاهده می‌شود، این اسکارن گارنت‌دار گسترش کمی پیدا کرده است که هم در سنگ‌های کربناتی و هم در سنگ‌های آذرین گسترش یافته است. رنگ این سنگ‌ها در نمونه‌های دستی اغلب قهوه‌ای تا قهوه‌ای مایل به سرخ و برخی سبز تیره است. با توجه به بررسی‌های سنگ نگاری، معلوم شد که کانی‌های اساسی تشکیل دهنده‌ی اسکارن عبارتند از کلسیت، گارنت، اپیدوت، آمفیبول، کلریت، پیروکسن و اکسیدهای آهن است (شکل‌های ۳- الف، ۳- ب، ۳- پ و ۳- ث).



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد بررسی، منطقه‌ی مورد بررسی روی نقشه ایران با مربع توپر مشخص شده است (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک [۴]).



شکل۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی – زمین ساختی ۱:۱۰۰۰ منطقه‌ی مورد بررسی [۴]، به همراه مقطع زمین‌شناسی از منطقه‌های اسکارن(A-Á).



شکل ۳ الف) گارنت‌های خرد شده همسانگرد تاخیری همراه با مگنتیت و کوارتز و اپیدوت در نورXPL. ب) گارنت‌های خرد شده همسانگرد تاخیری همراه با مگنتیت و کوارتز و اپیدوت در نور PPL.. پ) تصویری از هم رشدی گارنت و پیروکسن در نور XPL ت) تصویر از تجزیه بلورهای گارنت به اپیدوت در نور XPL. ث) تصویر بلور گارنت دارای منطقه‌بندی در نورPPL. ج) تصویرBSE بلور گارنت و منطقه‌بندی موجود در آن. (در تمامی شکل‌ها Grt = گارنت، Ep = اپیدوت، Mag = مگنتیت، Qz = کوارتز، Cpx = پیروکسن که بر اساس نامگذاری [۷] تعیین شده‌اند).

که این کانی‌ها طی دو مرحله‌ی دگرگونی در این سنگ‌ها به وجود آمده‌اند: مرحله‌ی اول که به صورت پیشرونده رخ داده و کانی‌های شکل گرفته در این مرحله مانند گارنت، کلینوپیروکسن (شکل ۳– پ)، بدون آب هستند و در مرحله دوم یک دگرگونی پسرونده است که حجم بزرگی از کالک سیلیکات‌های بی‌آب تشکیل شده در مراحل قبلی بوسیله یک-رشته سیلیکات‌های آهکی آبدار (اپیدوت و ترمولیت - اکتینولیت)، سولفیدها (پیریت،کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و کالکوسیت) و کلسیت جانشین شده‌اند (شکل ۳- الف، ۳- ب و ۳- ت). در طول این مرحله در اثر ورود گرمابهایی با دما پایین و فرآیند آبکافت، کربن‌گیری و سولفیدی‌شدن، گارنت به کلریت، آمفیبول، اپیدوت، کلسیت و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. دگرسانی پسرونده به قدری شدید بود که گارنت‌ها به شدت تجزیه شده و کاملاً به اپیدوت و هماتیت تبدیل شده‌اند به طوری که تنها شکل دروغینی از گارنت باقیمانده است. احتمالاً افزایش محلی گریزندگی اکسیژن نقش مهمی در شکل-گیری این اپیدوت‌ها داشته است [۱]. کلینوپیروکسن نیز به آمفیبول (ترمولیت و اکتینولیت) ، کلسیت، کوارتز، اکسیدها و سولفیدها (اینها طی تغییر شرایط شاره و محیط و در مراحل مجزا شکل گرفته‌اند) تبدیل شده است. باتوجه به مشاهدات میکروسکوپی می‌توان گارنت اسکارن، گارنت - پیروکسن اسکارن، آمفیبول اسکارن و گارنت - اپیدوت اسکارن را در این اسکارن مشاهده کرد. اسکارن‌های منطقه در دو بخش درون اسکارن و برون اسکارن نیز قابل توصیف‌اند.

درون اسکارن: در منطقه سرویان این منطقه به صورت نوار نسبتاً باریکی (حدود یک متر) در محل همبری توده‌های نیمه عمیق (میکرودیوریت، میکروکوارتز دیوریت ،گرانودیوریت و ریوداسیت) با سنگ‌های کربناتی تشکیل شده و از نظر ژنتیکی با شاره‌های اسکارن ساز در ارتباط است. ضخامت این بخش کم است. سنگ‌های این منطقه بافت آذرین خود را تا حد زیادی حفظ کرده و مقادیر قابل ملاحظه‌ای کانی‌های شاخص اسکارنی از جمله اکتینولیت، کلریت، اپیدوت، سرسیت، کلسیت، کوارتز و مقادیری جزئی گارنت در آن‌ها تشکیل شده‌اند. در منطقه‌ی مورد بررسی گارنت در بررسی‌های صحرایی و نمونه‌ی دستی به صورت کانی‌های درشت دانه در منطقه‌ی توده‌ی نفوذی اسکارنی شده و درون اسکارن دیده می‌شود. فراوانی این کانی به سمت منطقه‌های برون اسکارنی کاهش می‌یابد.

برون اسکارن: در منطقه‌ی مورد بررسی این زون، زون اصلی اسکارنی بوده و بین درون اسکارن و آهک‌های متبلور (مرمر) قرار دارد. در منطقه‌ی برون اسکارن تنوع سیلیکات‌های آهکی زیاد بوده و و متشکل از زیرپهنه‌های، گارنت اسکارن، گارنت - پیروکسن اسکارن و آمفیبول اسکارن هستند که در فاصله‌ی دورتر به اپیدوت اسکارن تبدیل می‌شوند. در واقع بیشترین رخنمون اپیدوت در نزدیکی ماده‌ی معدنی موجود در منطقه مورد بررسی است.

روش بررسی

پس از بررسی سنگ‌نگاری سنگ‌های منطقه‌ی مورد نظر، ۵ نمونه از رگه‌های کلسیت و کوارتز برای تهیه‌ی مقطع دو بر صیقل و بررسی‌های ریز دماسنجی میانبارهای شاره انتخاب شدند. بررسی شاره‌های درگیر در آزمایشگاه دانشگاه لرستان و روی ۴۸ شاره‌ی درگیر صورت گرفت. میکروسکوپ مورد استفاده Nikon مدل Ep200 مجهز به عدسی‌های شیئی ×100-×50-×10 بود. اندازه‌گیری‌های میکروترمتری با استفاده از یک گرم کننده (Heating) و منجمد کننده‌ی (Freezing) مدل MDS600 ساخت شرکت Linkan صورت گرفت. داده‌ای حاصل از این بررسی در (جدول ۱) نشان داده شده‌اند. منظور از بررسی ترکیب شیمیایی، منطقه بندی و تعیین نوع گارنت و پیروکسن بوده است. پس از بررسی سنگ نگاری مقاطع نازک دو نمونه از آن‌ها برای بررسی ریزپردازشی انتخاب و از آن‌ها مقاطع نازک صیقلی تهیه شدند. ترکیب شیمیایی گارنت‌ها و پیروکسن‌ها روی مقاطع نازک صیقلی ۱۲ عنصر با استفاده از ریزپردازنده‌ی الکترونی مدل Cameca SX-100، در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تعیین شد. نتایج آنالیز ریزپردازش گارنت و پیروکسن در (جدول‌های ۲ و ۳) ارائه شده است.

شیمی کانی‌ها

شیمی گارنت

بررسی‌های ریزپردازشی کانی گارنت در جدول ۲ ارائه شده‌اند. براساس نمودار سه‌تایی (اسپسارتین + آلماندین)، (گروسولار) و (آندرادیت) گارنت‌های مورد بررسی از نوع گروسولار - آندرادیت بودند (شکل ۴- الف). نتایج حاصل از آنالیز ریزپردازشی گارنت‌های منطقه نشان می‌دهند که ترکیب اعضای نهایی گارنت در اسکارن سرویان به صورت $Prp_{0.04\text{-}0.2}$ $Sps_{0.6\text{-}0.9}$ $Alm_{4\text{-}6}$ And 19-34 Grs74-55 است.

جدول ۱ نتایج بررسی شاره‌های دو فازی V+L((V= Vapor (بخار)، L= Liquid (مایع)) نمونه‌های کلسیتی و کوارتزی کانسار سرویان.

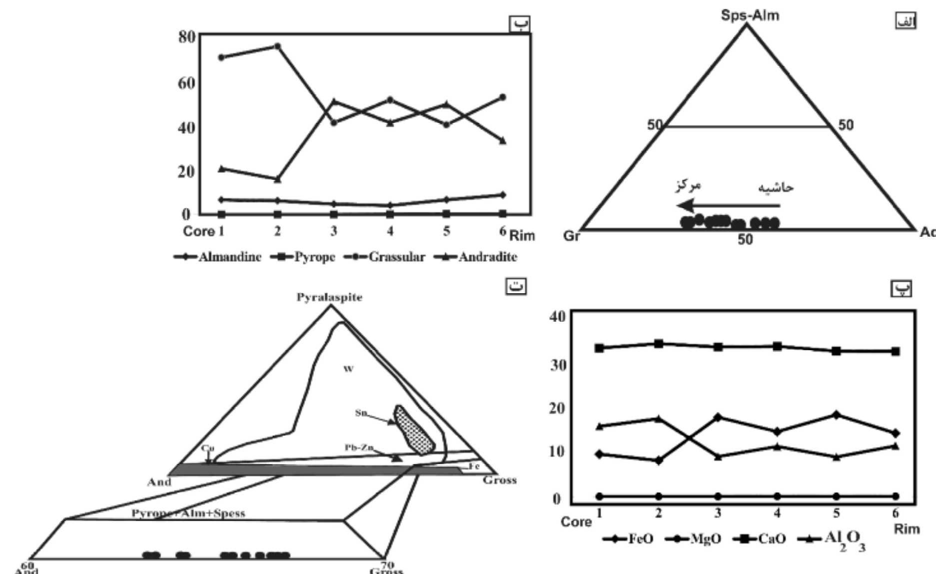
n	*IncType*	*Class*	*Shape*	*Size*	*Tm ice*	*Th-Total*	*Eq wt%*	*Density*	*Type*
۱	V+L	Primary	Faceted	۱۰٫۵	-۵٫۴	۲۱۰٫۳	۸٫۳۷۵	۰٫۹۳۲	کلسیت
۲	V+L	Primary	Rounded	۹٫۸	-۴٫۹	۲۵۰٫۴	۷٫۶۷۷	۰٫۹۲۲	کلسیت
۳	V+L	Primary	Irreqular	۸٫۱	-۵٫۲	۱۸٫۳	۸٫۰۹۸	۰٫۹۴۸	کلسیت
۴	V+L	Primary	Elangate	۱۶٫۷	-۵٫۶	۱۵۳٫۳	۸٫۶۴۹	۰٫۹۷۷	کلسیت
۵	V+L	Primary	Irreqular	۳۲٫۴	-۵٫۴	۱۵۵	۸٫۳۷۵	۰٫۹۷۴	کلسیت
۶	V+L	Primary	Irreqular	۱۷٫۲	-۳٫۸	۱۵۵٫۳	۶٫۰۷۶	۰٫۹۵۶	کلسیت
۷	V+L	Primary	Faceted	۸	-۴٫۳	۱۵۹٫۹	۶٫۸۱۵	۰٫۹۲۸	کلسیت
۸	V+L	Primary	Elangate	۳۴	-۷٫۸	۱۸۳٫۱	۱۱٫۲۲۲	۰٫۹۶۸	کلسیت
۹	V+L	Primary	Irreqular	۳۱٫۱	-۳٫۳		۵٫۳۱۹	۰٫۹۱۵	کلسیت
۱۰	V+L	Primary	Irreqular	۱۴٫۶	-۵٫۱	۱۸۵٫۵			کلسیت
۱۱	V+L	Primary	Irreqular	۹	-۱۷٫۲	۱۹۷٫۲	۲۰٫۳۵۴	۱٫۰۲۷	کلسیت
۱۲	V+L	Primary	Rounded	۱۳٫۴	-۱۳٫۶	۳۶۱٫۴	۱۷٫۴۲۳	۰٫۸۳۳	کلسیت
۱۳	V+L	Primary	Rounded	۱۲	-۱۶٫۶	۱۳۴٫۷	۱۹٫۸۹۷	۱٫۰۷۷	کلسیت
۱۴	V+L	Primary	Spherical	۳۰٫۱	-۹٫۹	۱۷۱	۱۳٫۸۳۹	۱٫۰۱۸	کلسیت
۱۵	V+L	Primary	Spherical	۹	-۱۰٫۷	۱۸۱٫۴	۱۴٫۶۷۳	۱٫۰۲۴	کلسیت
۱۶	V+L	Primary	Irreqular	۱۴٫۱	-۱۴	۱۶۱٫۲	۱۷٫۷۷۲	۱٫۰۴۸	کلسیت
۱۷	V+L	Primary	Ovel	۹٫۴	-۱۱٫۲	۱۵٫۴	۱۵٫۱۷۷	۱٫۰۲۸	کلسیت
۱۸	V+L	Primary	Elangate	۱۲٫۸	-۹٫۵	۲۱۲	۱۳٫۴۰۸	۱٫۰۱۵	کلسیت
۱۹	V+L	Primary	Irreqular	۱۷٫۴	۹٫۵	۲۰۵٫۴	۱۳٫۴۰۸	۱٫۰۱۵	کلسیت
۲۰	V+L	Primary	Elangate	۸٫۳	-۱۰٫۶	۱۴۵٫۷	۱۴٫۵۷۱	۱٫۰۲۳	کلسیت
۲۱	V+L	Primary	Elangate	۶	-۱۱٫۷	۲۱۶٫۴	۱۵٫۶۶۷	۱٫۰۳۲	کلسیت
۲۲	V+L	Primary	Irreqular	۱۱	-۱۱٫۲	۲۰۹٫۳	۱۵٫۱۷۷	۱٫۰۲۸	کلسیت
۲۳	V+L	Primary	Irreqular	۱۰٫۴	-۹٫۳	۱۷۷٫۷	۱۳٫۱۸۹	۱٫۰۱۳	کلسیت
۲۴	V+L	Primary	Irreqular	۹٫۴	-۱۰	۱۶۰٫۴	۱۳٫۹۴۵	۱٫۰۱۹	کلسیت
۲۵	V+L	Primary	Irreqular	۹٫۷	-۸	۲۰۳٫۷	۱۱٫۷۰۲	۱٫۰۰۲	کلسیت
۲۶	V+L	Primary	Elangate	۹	-۷٫۳	۲۰۳٫۷	۱۰٫۸۵۵	۰٫۹۶۶	کلسیت
۲۷	V+L	Primary	Elangate	۹٫۶		۱۵۴٫۱	۱۰٫۸۵۵	۰٫۹۶۶	کلسیت
۲۸	V+L	Primary	Irreqular	۱۸٫۳	-۸٫۶	۱۹۴٫۵	۱۲٫۴۰۲	۱٫۰۰۷	کلسیت
۲۹	V+L	Primary	Elangate	۷	-۱٫۲	۱۴۵٫۹	۱٫۹۷۹	۰٫۹۳۵	کوارتز
۳۰	V+L	Primary	Spherical	۹٫۷	-۰٫۲		۰٫۳۳۱	۰٫۹۲۵	کوارتز
۳۱	V+L	Primary	Spherical	۳٫۱	-۰٫۱	۱۳۲٫۶	۱٫۵۶۱	۰٫۹۳۳	کوارتز
۳۲	V+L	Primary	Irreqular	۳٫۳	-۱		۰٫۱۶۶	۰٫۹۲۴	کوارتز
۳۳	V+L	Primary	Irreqular	۷٫۵	-۰٫۱	۱۲۹٫۸	۰٫۱۶۶	۰٫۹۲۴	کوارتز
۳۴	V+L	Primary	Irreqular	۶٫۴	-۲٫۴		۳٫۹۱۶	۰٫۹۴۸	کوارتز
۳۵	V+L	Primary	Elangate	۸٫۱	-۱٫۵	۲۰۶٫۷	۲٫۴۶۹	۰٫۹۳۸	کوارتز
۳۶	V+L	Primary	Spherical	۷٫۱	-۲٫۷	۲۱۱	۴٫۳۸۹	۰٫۹۵۱	کوارتز
۳۷	V+L	Primary	Irreqular	۴٫۳	-۳٫۵	۲۱۳٫۶	۵٫۶۲۴	۰٫۹۵۹	کوارتز

جدول۲ بررسی ریزپردازشی از گارنت موجود در اسکارن سرویان محاسبه فرمول ساختاری گارنت با استفاده از ۱۲ اتم اکسیژن

	مرکز					حاشیه	مرکز				حاشیه
elements	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵
SiO_2	۳۸٫۷۴	۳۹٫۷۲	۳۷٫۷۸	۳۷٫۸۵	۳۷٫۴۳	۳۸٫۰۲	۳۹٫۴۴	۳۹٫۲۰	۳۹٫۱۰	۳۹٫۱۷	۳۸٫۵۴
TiO_2	۰٫۳۳	۰٫۴۱	۰٫۸	۰٫۶۸	۰٫۹	۱٫۴	۰٫۲۳	۰٫۱۹	۰٫۸۳	۰٫۱۸	۰٫۳۳
Al_2O_3	۱۵٫۹۷	۱۷٫۶۸	۹٫۱	۱۱٫۳۹	۸٫۹۸	۱۱٫۵۴	۱۷٫۳۶	۱۷٫۱۴	۱۵٫۷۸	۱۷٫۲۲	۱۳٫۱
FeO	۹٫۶۶	۸٫۲	۱۸	۱۴٫۷۳	۱۷٫۵۶	۱۴٫۳۶	۸٫۹۲	۸٫۵۶	۱۰٫۱	۸٫۵۲	۱۲٫۰۸
MnO	۰٫۳۵	۰٫۳۷	۰٫۱۹	۰٫۲۸	۰٫۱۶	۰٫۲۹	۰٫۴۱	۰٫۴	۰٫۴۶	۰٫۴۴	۰٫۴۱
MgO	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵
CaO	۳۳٫۷	۳۴٫۷۳	۳۳٫۹۵	۳۳٫۰۸	۳۳٫۰۱	۳۲٫۶۴	۳۴٫۶۲	۳۳٫۹۲	۳۴٫۰۷	۳۳٫۵۲	۳۳٫۲۸
Total	۹۸٫۷۹	۱۰۱٫۱۵	۹۹٫۸۷	۹۹٫۰۷	۹۹٫۰۸	۹۸٫۶۱	۱۰۱٫۰۲	۹۹٫۴۵	۱۰۰٫۳۹	۹۹٫۰۹	۹۸٫۷۹
Si	۳٫۰۳	۳٫۰۲	۳	۳	۳	۳٫۰۳	۳	۳٫۰۳	۳٫۰۲	۳٫۰۴	۳٫۰۴
Ti	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۲
Al	۱٫۴۷	۱٫۵۸	۰٫۸۵	۱٫۰۶	۰٫۸۵	۱٫۰۸	۱٫۵۶	۱٫۵۶	۱٫۴۳	۱٫۵۸	۱٫۲۲
Fe^3	۰٫۴۳	۰٫۳۳	۱٫۰۵	۰٫۸۵	۱٫۰۴	۱٫۶۸	۰٫۴۱	۰٫۳۵	۰٫۴۴	۰٫۳۲	۰٫۶۶
Fe^2	٫۲	۰٫۱۹	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۲	۰٫۲۷	۰٫۱۶	۰٫۲	۰٫۲۱	۰٫۲۳	۰٫۱۳
Mn	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳
Mg	۰٫۰۰۱۲	۰٫۰۰۱۲	۰٫۰۰۲۴	۰٫۰۰۳۵	۰٫۰۰۴۸	۰٫۰۰۷۱	۰٫۰۰۳۴	۰٫۰۰۶۹	۰٫۰۰۳۴	۰٫۰۰۱۲	۰٫۰۰۱۴
Ca	۲٫۸۲	۲٫۸۳	۲٫۸۹	۲٫۹	۲٫۸۴	۲٫۸۱	۲٫۸۳	۲٫۸۱	۲٫۸۲	۲٫۷۹	۲٫۹
Total	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Garnet component (mol٪)											
Almandine	۶٫۶۵	۶٫۲۹	۴٫۸۴	۴٫۱۶	۶٫۸۵	۹٫۱۹	۵٫۴۱	۶٫۵۷	۷٫۱۸	۷٫۶۸	۴٫۴۱
Pyrope	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۱۶	۰٫۲۴	۰٫۱۱	۰٫۲۳	۰٫۱۲	۰٫۰۴	۰٫۰۵
Grossular	۷۱٫۵۹	۷۶٫۷۸	۴۲٫۳۶	۵۲٫۸	۴۱٫۶۱	۵۵٫۱۷	۷۴٫۲۵	۷۵٫۲۵	۷۰٫۳۰	۷۵٫۹۱	۶۱٫۲۷
Spessartine	۰٫۷۷	۰٫۷۹	۰٫۴۳	۰٫۶۳	۰٫۳۷	۰٫۶۶	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۱	۰٫۹۵	۰٫۹
Andradite	۲۰٫۹۵	۱۶٫۱	۲۵٫۲۸	۴۲٫۲۹	۵۱٫۰۱	۳۴٫۷۴	۱۹٫۳۵	۱۷٫۰۸	۲۱٫۴	۱۵٫۴۲	۳۳٫۳۷

جدول ۳ آنالیزهای ریزپردازشی پیروکسن موجود در اسکارن سرویان و محاسبه‌ی فرمول ساختاری پیروکسن با استفاده از ۶ اتم اکسیژن.

	مرکز					حاشیه	مرکز					حاشیه
elements	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶
SiO_2	۵۳٫۶۰	۵۳٫۱۰	۵۳٫۷۷	۵۴٫۲۷	۵۴٫۰۱	۵۳٫۴۲	۵۳٫۵۵	۵۲٫۲۶	۵۳٫۱۹	۵۴٫۳۱	۵۴٫۰۴	۵۳٫۹۶
TiO_2	۰٫۰۹	۰٫۱۴	۰٫۰۴	۰٫۲۵	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۴۶	۰٫۰۳	۰٫۰۳
Al_2O_3	۱٫۵۲	۱٫۹۴	۱٫۳۵	۲٫۵۴	۱٫۹۷	۱٫۲۸	۱٫۴۲	۱٫۹۲	۱٫۲۷	۱٫۷	۱٫۳۸	۱٫۳۱
FeO	۶٫۰۸	۶٫۵۹	۶٫۴۹	۳٫۹۵	۹٫۵۹	۹٫۰۳	۰٫۱۳	۵٫۱۳	۱۰٫۹	۶٫۹۵	۹٫۰۹	۱۰٫۸۸
MnO	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۰۴	۰٫۱	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۱
MgO	۱۱٫۶۲	۱۱٫۴۹	۱۱٫۵۷	۱۲٫۵۷	۱۰٫۱۱	۱۱٫۰۳	۱۱	۱۱٫۹۵	۱۰٫۶۲	۱۱٫۵۸	۱۱٫۱۶	۹٫۸۳
CaO	۲۴٫۷	۲۴٫۷۶	۲۵٫۳۱	۲۵٫۹۳	۲۴٫۴۴	۲۴٫۷۹	۲۴٫۳۶	۲۵٫۷۲	۲۴٫۱۰	۲۵٫۴۶	۲۵٫۲	۲۵٫۲۱
Na_2O	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵
K_2O	۰	۰٫۰۲	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰
Total	۹۷٫۷۶	۹۸٫۲۴	۹۸٫۶۴	۹۹٫۲۲	۱۰۰٫۳	۹۹٫۶۵	۹۹٫۶۶	۱۰۰٫۰۶	۱۰۰٫۲۵	۱۰۰٫۵۵	۱۰۱٫۰۴	۱۰۱٫۳۷
Si	۱٫۹۹	۱٫۹۶	۱٫۹۹	۱٫۹۵	۱٫۹۸	۱٫۹۸	۱٫۹۸	۱٫۹۷	۱٫۹۷	۱٫۹۸	۱٫۹۸	۱٫۹۸
Ti	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰
Al	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۱۱	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۸
Fe	۰٫۱۹	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۱۲	۱۸٫۰	۰٫۲۸	۰٫۱۵	۰٫۳۴	۰٫۲۱	۰٫۲۷	۰٫۳۳	۰٫۲۴
Mg	۰٫۶۴	۰٫۶۳	۰٫۶۴	۰٫۶۵	۰٫۶۱	۰٫۶۱	۰٫۶۴	۰٫۵۹	۰٫۶۲	۰٫۶۱	۰٫۵۴	۰٫۶۱
Ca	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۱	۱	۰٫۹۸	۰٫۹۶	۰٫۹۹	۰٫۹۶	۰٫۹۹	۰٫۹۷	۰٫۹۹	۰٫۹۷
Na	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۳	۰	۰٫۰۰۴	۰
Total	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Pyroxene component (mol٪)												
Wo	۵۴	۵۴	۵۴	۵۶	۵۳	۵۲	۵۵	۵۱	۵۴	۵۲	۵۳	۵۳
En	۳۵	۳۵	۳۵	۳۷	۳۳	۳۳	۳۶	۳۱	۳۴	۳۳	۲۹	۳۴
Fs	۱۰	۱۱	۱۱	۷	۱۵	۱۵	۹	۱۸	۱۲	۱۵	۱۸	۱۳



شکل ۴ الف) نمودار سه تایی (اسپسارتین + آلماندن)، (گروسولار) و (آندرادیت) [۸]. ب) نمودار منطقه‌بندی اعضای انتهای بلور گارنت. پ) نمودار منطقه‌بندی عناصر موجود در بلور گارنت. ت) ترکیب گارنت‌های مورد بررسی در نمودار (Andradite-Grossular-Pyrope+Almandine+Spessartine) برای مقایسه با گارنت‌های اسکارن [۹].

تغییرات درصد اعضای نهایی گارنت موجود در هر نمونه از مرکز به حاشیه نشان دهنده‌ی کاهش کسر مولی گروسولار، افزایش کسر مولی آندرادیت، افزایش کسر مولی آلماندین و تغییرات کم کسرهای مولی پیروپ و اسپسارتین است (شکل ۴- ب). این تغییرات اعضای نهایی گارنت بیانگر منطقه‌بندی و تغییر در مقدار اکسیدهای عناصر (MgO, FeO, CaO, MnO) از مرکز به حاشیه در بلورهای گارنت است (شکل ۴- پ). این گارنت‌ها علاوه بر منطقه‌بندی شیمیایی، دارای منطقه‌بندی فیزیکی مشخصی نیز هست که در این حالت بلورهای گارنت زیر میکروسکوپ دارای نواربندی‌های با رنگ‌های روشن و تیره‌تر مشخصی است (شکل ۳- ث) و این تغییر رنگ و نواربندی در تصاویر BSE (تصاویر حاصل از ریزپردازنده) نیز قابل مشاهده است (شکل ۳- ج). این منطقه‌بندی فیزیکی خود می‌تواند در اثر منطقه‌بندی شیمیایی و تغییرات مقدار عناصر از مرکز به حاشیه بلور باشد. به عقیده‌ی [۱۰] دو نوع منطقه‌بندی در گارنت شناخته شده‌اند. منطقه‌بندی رشدی که حین تبلور و رشد بلور ایجاد می‌شود منطقه‌بندی نشتی (حاصل شاره‌های ثانویه و تأخیری) که پس از تبلور گارنت به وجود می‌آید باعث بهم ریختگی منطقه‌بندی هنگام تبلور، می‌شود. نتایج آنالیز گارنت‌های منطقه نشان‌دهنده‌ی وابستگی بیشتر آنها به گارنت‌های نوع دوم است. [۱۱] معتقد است که جریان‌های همرفتی در اثر آب‌های جوی در مجاورت توده‌ی نفوذی، و مشارکت این آب‌ها در گرماب‌ها می‌تواند باعث ایجاد تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیای شاره‌های گرمابی شود. به عقیده‌ی [۱۲]، سیستم دوتایی گروسولار - آندرادیت، به تغییرات ترکیب شاره‌های گرمابی حساس است. تغییرات موجود در شرایط فیزیکی و شیمیای و بویژه تغییرات نوسانی آن‌ها، موجب تغییرات دوره‌ای در حالت جوشش و اکسایش گرماب‌ها، و در نتیجه ایجاد دوره‌ای آندرادیت – گروسولار می‌شود [۱۳]. با توجه به مقایسه‌ی ترکیب گارنت‌های منطقه سرویان با گارنت‌های اسکارنی (شکل ۴- ت)، همخوانی و شباهت گارنت‌های این منطقه با گارنت اسکارن‌های آهن و مس‌دار، و عدم شباهت آن با انواع اسکارن‌های قلع‌دار مشاهده می‌شود.

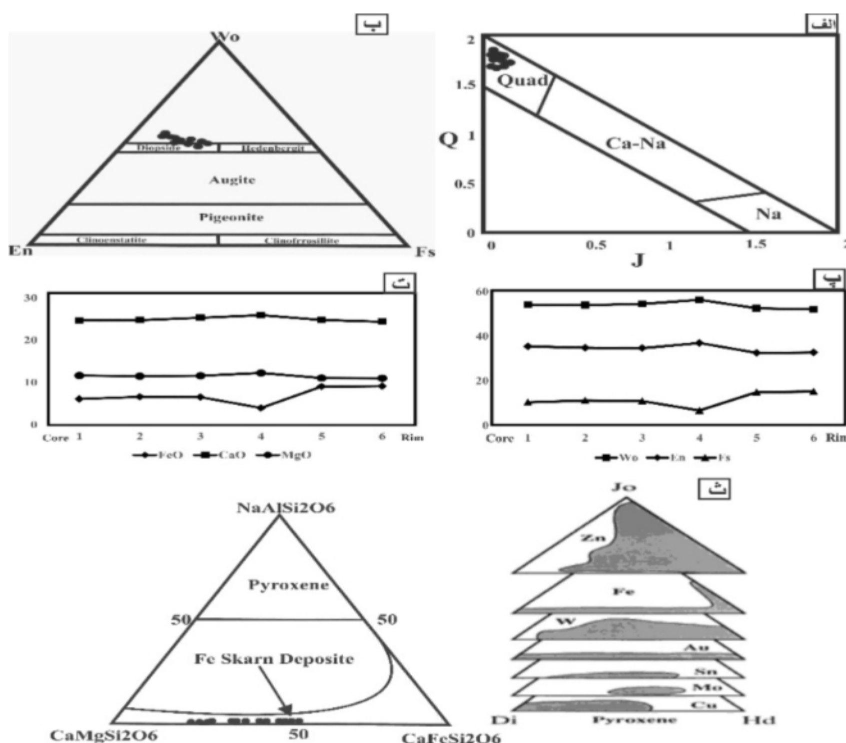
شیمی پیروکسن

داده‌های وابسته به بررسی ریزپردازشی کانی پیروکسن در (جدول ۳) ارائه شده‌اند. پیروکسن‌ها در رده‌بندی گسترده‌ای به ۴ گروه: ۱-پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe (Quad)، ۲- پیروکسن‌های Ca-Na، ۳- پیروکسن‌های Na، ۴- دیگر پیروکسن‌ها (Other) رده‌بندی می‌شوند [۱۴]. در مورد نمونه پیروکسن‌های مورد نظر پس از آنکه در نمودار، Q-J در بخش Quad قرار گرفتند (شکل ۵- الف)، برای جدایش پیروکسن‌های گروه Ca-Mg-Fe از نمودار مثلثی Wo-En-Fs [۱۵] استفاده شد. چنانکه در نمودار Wo-En-Fs ملاحظه می‌شود، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های بررسی شده از نوع

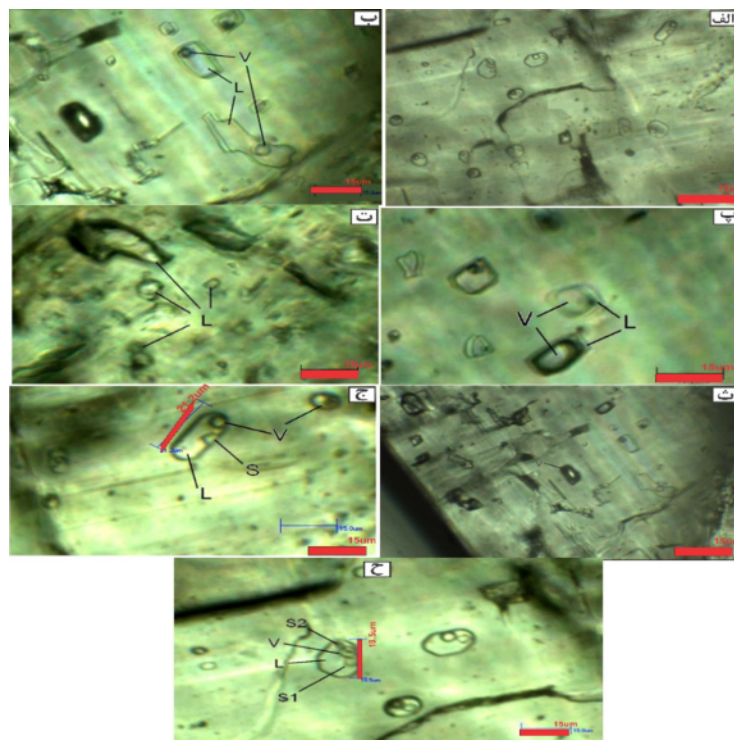
دیوپسید-هدنبرژیت و غنی از کلسیم است (شکل ۵- ب). ترکیب پیروکسن‌ها در کل، در حدود $En_{31\text{-}36}$ $Fs_{9\text{-}20}$ $Wo_{51\text{-}55}$ قرار می‌گیرد. داده‌های آنالیز ریزپردازشی کانی پیروکسن نشان می‌دهد که از مرکز به حاشیه مقدار درصد مولی فروسالیت افزایش، ولاستونیت کاهش و انستاتیت می‌یابند (شکل ۵- پ) و این خود گویای تغییر در مقدار اکسید عناصر سازنده‌ی آن‌ها (MgO, FeO, CaO) از مرکز به حاشیه پیروکسن است (شکل ۵- ت). مقایسه‌ی ترکیب پیروکسن‌های منطقه سرویان با پیروکسن‌های اسکارنی نشان‌دهنده‌ی همخوانی و شباهت پیروکسن‌های این منطقه با پیروکسن‌های اسکارن‌های آهن‌دار است (شکل ۵- ث).

بررسی شاره‌های درگیر

اندازه شاره‌های مورد بررسی بلورهای کلسیت و کوارتز متفاوت بوده، و از ۵ میکرون تا ۳۴ میکرون تغییر می‌کند (بزرگترین میان بار مشاهده شده در کانی کلسیت). شاره‌های درگیر اولیه بزرگتر و شاره‌های درگیر ثانویه‌ی کاذب و ثانویه بیشتر کوچک‌اند. بیشتر شاره‌های درگیر موجود در نمونه‌ها بیشتر به شکل: بیضوی، گرد، بی‌شکل، کشیده ، میله‌ای وچند ضلعی دیده می‌شوند (شکل ۶- الف). برای رده‌بندی شاره‌های درگیر برپایه‌ی نسبت‌های فازی جامد، مایع و گاز رده‌بندی شده‌اند که اغلب پژوهشگران از روش [۱۶] پیروی می‌کنند. در نمونه‌های بررسی شده، ۶ نوع شار درگیر قابل شناسایی هستند که عبارتند از: الف) دو فازی مایع- گاز L+V (Liquid rich): این شاره‌های نفوذی، فراوانی بالایی دارند که بیشتر آنها اولیه هستند و به دو صورت اولیه و ثانویه نیز دیده می‌شوند. ۸۰٪ از حجم نفوذی‌ها را مایع تشکیل داده، و فاز بخار به‌صورت هاله‌ای سیاه رنگ‌اند که می‌تواند نشانگر حضور CO_2 باشد (شکل ۶- ب). ب) دو فازی گاز- مایع V+L (شکل ۶- پ). پ) تک فازه مایع L(Liquid) (شکل ۶- ت). ث) تک فازه گاز V (بخار) (شکل ۶- ث). ج) چند فازی گاز- مایع – جامد (V+L+S) (شکل ۶- ج). ح) چند فازی گاز – مایع – جامد ($V+L+S_1+S_2$) فراوان، این گروه از نفوذی‌ها را تشکیل می‌دهند و دارای دو بخش جامد شامل کانی مکعبی هالیت و کانی دیگر احتمالاً مگنتیت است (شکل ۶- ح). بیشترین فراوانی شاره‌های درگیر از آن درونگیرهای نوع دو فازی آبگون + حباب گاز (LV) بوده که حباب گاز حجمی معادل ۲۵ الی ۳۰ درصد را تشکیل می‌دهد.



شکل ۵ الف) بررسی ترکیب پیروکسن‌ها در نمودار Q- J [۱۴]. ب) نمایش ترکیب پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار Wo-En-Fs [۹]. پ)نمودار منطقه‌بندی اعضای انتهای بلور پیروکسن. ت) نمودار منطقه‌بندی عناصر موجود در بلور پیروکسن. ث) ترکیب پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار (Di-Hd-Jo) برای مقایسه با پیروکسن‌های اسکارنی [۹].



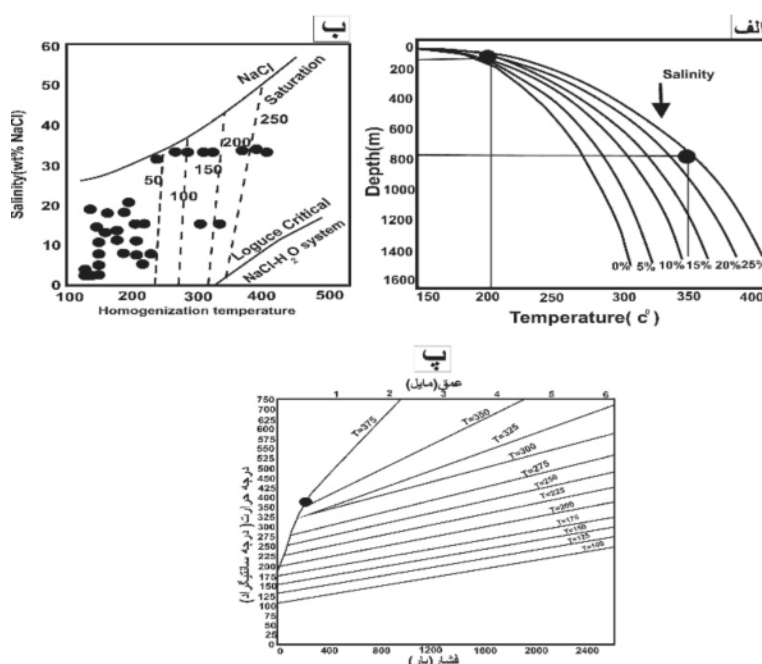
شکل ۶ الف) بیشتر شکل‌های شاره‌های درگیر موجود در نمونه‌های کانسار سرویان. ب) تصویری از درونگیرهای نوع آبگون- گاز (L+V) و غنی از آبگون اولیه. پ) تصویری از درونگیرهای نوع گاز-مایع (V+L) غنی از گاز. ت) تصویری از درونگیرهای نوع آبگون (L). ث) تصویری از درونگیرهای نوع گاز (V). ج) تصویری از درونگیرهای نوع گاز-مایع-جامد (V+L+S). ح) تصویری از درونگیرهای نوع گاز-آبگون-جامد-جامد ($V+L+S_1+S_2$). (در تمامی شکل‌ها؛ V = Vapor (بخار)، L = Liquid (مایع)، S = Solid(جامد)).

عمق به دام افتادن شاره‌های درگیر کانسار سرویان برای آن دسته از شاره‌ها که در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پسرونده به دام افتاده‌اند بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر و در نزدیکی سطح زمین بوده‌اند و برای شاره‌هایی که در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پیشرونده به دام افتاده‌اند، عمق به دام افتادن بین ۸۰۰ تا ۸۵۰ متری را نشان می‌دهد که بیان کننده خاستگاه گرفتن آن‌ها از آب‌های ماگمایی است (شکل ۷- الف). در این بررسی برای تعیین فشار از نمودار تعیین فشار براساس دمای همگن شدن و شوری [۱۷] استفاده شد، که فشار حاکم طی تشکیل بیشتر شاره‌ها دو فازی کمتر از ۵۰ بار است (شکل ۷- ب). در واقع این دسته از شاره‌های وابسته به مرحله‌ی پسرونده‌ی اسکارن‌زایی هستند و تعدادی از شاره‌های سه فازی فشاری بین ۵۰ تا۲۰۰ بار را نشان می‌دهند که در مرحله‌ی پیشرونده اسکارن‌زایی در کانسار سرویان به دام افتاده‌اند. با توجه به داده‌های (جدول ۱) دمای یکنواخت این کانسار را می‌توان تقریباً ۳۸۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفت و با توجه به نمودار شوری به دمای همگن شدن [۱۸] که عمق به دام افتادن شاره‌های درگیر کانسار سرویان را نشان می‌دهد فشار بین ۵۰ تا ۲۰۰ بار برآورد شده است (شکل ۷_ الف)، دمای تشکیل این کانسار با توجه به نمودار تعیین دمای تشکیل کانسار با استفاده از دمای یکنواخت و عمق [۱۹] تقریبا ۳۸۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد است (شکل۷- پ). روندهای فیزیکی اصلی در جهت نهشت کانسار سرویان جوشش و اختلاط شاره‌های ماگمایی با شاره‌های جوی است. جوشش و اختلاط شاره‌ها، دو عامل مهمی هستند که معمولاً شرایط لازم برای ته نشست کانسارها را فراهم می‌آورند و باعث ابر اشباع شدن سریع شاره‌ی ماگمایی در گستره‌ی سنگ‌ها و ته‌نشست کانسارها می‌شوند [۲۰]. آنچه گفته شد بیانگر اختلاط بیشتر شاره‌های مورد بررسی با آب‌های جوی و رقیق-شدن آن‌هاست که در واقع این گروه از شاره‌ها در اسکارن سرویان در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پسرونده به دام افتاده‌اند. وجود میانبارهای غنی از شاره؛ خاستگاه گرمابی را تأیید می-کند. وجود شاره‌های درگیر با شوری و دمای بالاتر، نشانگر غالب بودن آب‌های ماگمایی است [۲۱] که در اسکارن سرویان، این گروه از شاره‌ها در مرحله‌ی اسکارن‌زایی پیشرونده با دمای

بالا به دام افتاده‌اند. از طرفی مهم‌ترین نشانه جوشش یعنی وجود میانبارهای غنی از فاز بخار همزیست با میانبارهای غنی از آبگون که در دمای یکسان به حالت بخار همگن می‌شوند [۲۱] در نمونه‌های مورد بررسی مشاهده شده‌اند و بنابراین با توجه به وجود میانبارهای تک فاز گازی می‌توان به این نتیجه رسید که پدیده جوشش در شاره‌ی سازنده‌ی کانسار سرویان رخ داده است. به‌طور کلی از عوامل موثر در ته‌نشینی این کانسار می‌توان به اختلاط شاره‌های کانسار ساز با یکدیگر، کاهش دما و فشار در اثر جوشش، کاهش سرعت محلول کانسار ساز، افزایش نفوذپذیری، تغییرات شیمیایی و به‌وجود آمدن شکستگی و گسل در سنگ‌های میزبان ماده‌ی معدنی اشاره کرد.

دماسنجی گارنت - پیروکسن

در بررسی دما و فشار اسکارن، از روش‌هایی متعددی مانند استفاده از مجموعه‌های کانی‌شناسی و استفاده از چند تصویر برداریهایی مانند AFC موجود در بررسی‌های سیستم‌های دگرگون [۲۲، ۲۳]، استفاده از کانی شناسی و محاسبات روابط فازی آنها با نرم افزار ترموکالک [۲۴] و نیز از شیمی زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن [۲۲، ۲۳] استفاده شد. با توجه به تمرکز ما در بحث شیمی کانی، برای بررسی‌های دما و فشار اسکارن سرویان از مجموعه کانی‌شناسی و زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن و روش‌های که پژوهشگرانی مانند [۲۲، ۲۳] استفاده از آن‌ها را در اسکارن بررسی کرده‌اند، استفاده می‌کنیم. دماسنج زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن بر اساس تبادلات Fe-Mg بین این دو کانی استوار است. تبادل Fe-Mg در این روش به عنوان KD معرفی می‌شود و تابع دما و فشار و ترکیب کانی است. معادله‌ی تغییرات KD بین گارنت و کلینوپیروکسن به‌صورت (Fe/Mg)grt/(Fe/Mg)cpx بیان می‌شود. تعیین دما و فشار با استفاده از این زوج کانی توسط پژوهشگران زیادی مانند [۲۵-۳۰] مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد استفاده از این روش در اسکارن به دلیل بالا بودن محتوای کلسیم آن‌ها باید دقت شود. در این مقاله ما از روش‌های تعیین دمای زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن [۲۶ – ۲۸ ،۳۰] که محققانی همچون [۲۲، ۲۳] برای تعیین دما و فشار اسکارن‌ها بررسی کرده‌اند، استفاده کرده‌ایم. تشکیل اسکارن یک فرایند از نوع دگرگونی مجاورتی است و فشار تشکیل آن کمتر از ۴ کیلو بار در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس دماهای به‌دست آمده در فشار کمتر از ۴ کیلو بار برای اسکارن سرویان و بنابر روش‌های [۳۰ – ۲۶] برای دماسنج گارنت - کلینوپیروکسن انجام گرفت که میانگین آن بین ۳۷۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد به‌دست آمده است (جدول‌های ۴ - ۷).



شکل۷ الف) نمودارعمق به دام افتادن شاره‌های درگیر کانسار سرویان را نشان می‌دهد [۱۸]. ب) نمودار تعیین فشار براساس دمای همگن شدن و شوری، خط چین‌ها بیانگر فشار(بار) [۱۷]. ج) تعیین دمای تشکیل کانسار در دمای یکنواخت و عمق [۱۹].

جدول ۴ داده‌های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۲۷].

P(Kb)	°C	°C	°C	°C	°C	°C		°C	°C	°C	°C	°C
۱	۳۵۷٫۴۰	۳۷۴٫۷۳	۴۶۵٫۲۳	۴۲۵٫۵۱	۴۱۷٫۷۱	۴۲۷٫۴۹		۳۵۸٫۶۴	۴۵۰٫۳۵	۳۹۲٫۰۰	۳۸۸٫۵۶	۴۵۳٫۹۰
۲	۳۵۸٫۵۵	۳۷۵٫۹۰	۴۶۶٫۵۶	۴۲۶٫۷۷	۴۱۸٫۹۷	۴۲۸٫۷۸		۳۵۹٫۷۸	۴۵۱٫۶۷	۳۹۳٫۲۲	۳۸۹٫۷۷	۴۵۶٫۳۰
۳	۳۵۹٫۷۰	۳۷۷٫۰۸	۴۶۷٫۹۰	۴۲۸٫۰۲	۴۲۰٫۳۳	۴۳۰٫۰۷		۳۶۰٫۹۳	۴۵۲٫۹۸	۳۹۴٫۴۳	۳۹۰٫۹۸	۴۵۷٫۶۰

جدول ۵ داده‌های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۲۸].

P(Kb)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
۱	۳۹۱٫۱۴	۴۰۹٫۵۳	۵۰۵٫۴۸	۴۶۳٫۳۸	۴۵۴٫۵۱	۴۶۴٫۱۶	۳۹۲٫۳۸	۴۸۸٫۷۶	۴۲۷٫۴۱	۴۲۳٫۹۴	۴۱۶٫۳۰
۲	۳۹۲٫۳۰	۴۱۰٫۷۲	۵۰۶٫۸۳	۴۶۴٫۶۵	۴۵۵٫۷۸	۴۶۵٫۴۷	۳۹۳٫۵۴	۴۹۰٫۰۹	۴۲۸٫۶۴	۴۲۵٫۱۶	۴۱۸٫۶۰
۳	۳۹۳٫۴۶	۴۱۱٫۹۱	۵۰۸٫۱۷	۴۶۵٫۹۲	۴۵۷٫۰۶	۴۶۶٫۷۷	۳۹۴٫۶۹	۴۹۱٫۴۲	۴۲۹٫۸۶	۴۲۶٫۳۸	۴۱۹٫۴۰

جدول ۶ داده‌های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۳۰].

P(Kb)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
۱	۴۶۷٫۰۷	۴۹۲٫۸۰	۴۴۹٫۴۱	۴۳۳٫۲۲	۴۴۹٫۴۰	۵۰۳٫۵۹	۴۶۰٫۳۰	۵۴۷٫۳۴	۴۹۴٫۴۱	۵۱۵٫۸۱	۵۷۳٫۶۴
۲	۴۶۸٫۴۲	۴۹۴٫۱۹	۴۵۰٫۷۱	۴۳۴٫۵۰	۴۵۰٫۷۲	۵۰۵٫۰۳	۴۶۱٫۶۳	۵۴۸٫۸۴	۴۹۵٫۸۲	۵۱۷٫۲۵	۵۷۵٫۱۷
۳	۴۶۹٫۷۷	۴۹۵٫۵۹	۴۵۲٫۰۲	۴۳۵٫۷۷	۴۵۲٫۰۴	۵۰۶٫۴۶	۴۶۲٫۹۶	۵۵۰٫۳۴	۴۹۷٫۲۳	۵۱۸٫۷۰	۵۶۷٫۷۰

جدول ۷ داده های مربوط به دماسنجی زوج کانی گارنت – کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۲۶].

P(Kb)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
۱	۳۷۸٫۵۱	۳۹۵٫۷۳	۴۸۳٫۵۰	۴۴۱٫۸۹	۴۳۹٫۶۴	۴۵۶٫۴۱	۳۷۷٫۶۷	۴۷۵٫۹۱	۴۱۶٫۵۴	۴۱۴٫۲۸	۴۸۹٫۹۰
۲	۴۰۶٫۳۷	۴۲۴٫۳۱	۵۱۵٫۸۳	۴۷۲٫۳۸	۴۷۰٫۲۰	۴۷۸٫۷۷	۴۰۵٫۴۱	۵۰۷٫۹۲	۴۴۶٫۰۱	۴۴۳٫۶۹	۴۳۰٫۹۰
۳	۴۳۴٫۲۳	۴۵۲٫۸۸	۵۴۸٫۱۷	۵۰۲٫۸۷	۵۰۰٫۷۷	۵۱۹٫۱۴	۴۳۳٫۱۶	۵۳۹٫۹۳	۴۷۵٫۴۹	۴۷۳٫۱۰	۴۷۱٫۹۰

بحث و برداشت

بررسی توده‌ی گرانیتی منطقه سرویان نشان داد که این توده دارای ترکیب سنگ‌شناسی گرانودیوریت تا دیوریت است [۵]. نفوذ توده‌ی گرانیتی و دگرگونی مجاورتی، بستر مناسبی برای نهشت مجموعه کانی‌های سیلیکاتی کلسیمی بدون آب از جمله گارنت (گروسولار - آندرادیت) و پیروکسن (هدنبرژیت - دیوپسید) در زون اسکارنی فراهم کرده است. با ادامه‌ی تبلور ماگما، افزایش فشار حاصل از آبگون‌های ماگمایی آزاد شده، باعث شکستگی‌هایی در درون سنگ‌های کربناتی مجاور می‌شود که می‌تواند معابری برای حرکت سریعتر شاره‌ها و زمینه‌ای برای اختلاط آن‌ها با آب‌های جوی فراهم کند. در مراحل دگرنهادی شاره‌های حاوی Fe, Si و Mg در حالت نسبتاً اکسنده باعث واکنش‌های کربن‌زدایی و گسترش سیلیکات‌های کلسیمی غنی از آهن بدون آب می‌شوند [۳۱] و آندرادیت که یکی از سیلیکات‌های کلسیمی بدون آب اصلی در بیشتر ذخایر اسکارن آهن است، در این راستا تشکیل می‌شود . پیروکسن نیز همراه با گارنت در منطقه‌های اسکارنی به‌عنوان یک کانی سیلیکات کلسیم بدون آب در مرحله‌ی پیشرونده اسکارن‌زایی تشکیل شده است. روابط وابسته به تشکیل دوگانه و عدم مشاهده‌ی بافت‌های جانشینی، حاکی از رشد همزمان پیروکسن و گارنت در این منطقه است. بنابرنظر [۳۱] ولاستونیت هیچگاه در دمای کمتر از ۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد تشکیل نمی‌شود و متناسب با فشار موجود، دمای تشکیل تغییر می‌یابد .برای تشکیل ولاستونیت فشارهایی حدود۵۰۰ ، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ بار در دماهایی معادل ۶۰۰ ,۶۵۰ ، ۶۷۰ و ۷۰۰ درجه‌ی سانتیگراد لازم است [۳۲]. نبود ولاستونیت در اسکارن‌های این منطقه دلیلی بر تشکیل آن در دمای کمتر از ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد است. کانسارهای اسکارنی در دامنه‌ی گرمایی گسترده‌ای به وجود می‌آیند. به طور کلی بالاترین و پایین‌ترین دمای تشکیل اسکارن‌ها به ترتیب ۹۰۰ و ۵۰-۱۰۰ درجه سانتیگراد مورد قبول واقع شده است [۳۳]. باید گفت که در منطقه‌ی مورد نظر مرحله‌ی دگرنهادی پیشرونده اسکارن سرویان پس از جایگیری

و انجماد بخش چشمگیری از توده‌ی نفوذی و تکامل گرماب‌ها و نفوذ آن به داخل سنگ‌های درونگیر آغاز شده است، کانی‌های دگرنهاد با دمای بالا و بدون آب اسکارنی درشت دانه مانند گارنت و پیروکسن بوجود آمده‌اند. طبق [۳۴] دمای تشکیل گارنت و پیروکسن احتمالاً در گستره‌ی ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. گارنت‌ها در اثر ترکیب کلسیم سنگ-های کربناتی با سیلیس و آهن تشکیل می‌شوند آلومینیوم نیز از طریق گرماب‌ها به سنگ آهک اضافه شده است [۳۵]. در اسکارن سرویان به خاطر وجود FeO و مقدار نسبتا پایین سیلیس، کانی‌های آندرادیت، هدنبرژیت و مگنتیت تشکیل شده‌اند. با توجه به عدم وجود شواهدی دال بر تبدیل آندرادیت به ولاستونیت – هدنبرژیت و یا ولاستونیت - مگنتیت می‌توان چنین نتیجه گرفت که دمای مرحله‌ی اصلی تشکیل منطقه، گارنت کمتر از 550 درجه‌ی سانتیگراد بوده است که این دما را با استفاده از دماسنج گارنت - کلینوپیروکسن بین دمای ۳۷۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد بدست آورده‌ایم و با توجه به حضور کانی‌های پیروکسن، گارنت، آمفیبول و کلسیت که در دگرگونی مجاورتی سنگهای کلسیک نشان‌دهنده رخساره‌ی هورنبلند هورنفلس است در این مرحله می‌توان گفت دما تا رخساره‌ی هورنبلند هورنفلس پیشرفت کرده است. آغاز دگرسانی پسرونده را می‌توان با مجموعه‌ی گارنت - اپیدوت به دمایی پایین‌تر از ۴۵۰ درجه‌ی سانتیگراد نسبت داد [۳۶]. در واقع در این مرحله با کاهش تدریجی دمای سیستم گرمابی - ماگمایی و احتمالاً مخلوط شدن آن با آب‌های زیرزمینی (با خاستگاه جوی) سبب دگرسانی پسرونده مجموعه کانی‌های سیلیکات کلسیم بدون آب در دماهای کمتر از ۴۷۰ درجه‌ی سانتیگراد شده است. مگنتیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانه تشکیل دهنده اسکارن سرویان است که در این مرحله از اسکارن‌زایی تشکیل شده است دمایی که به روش ریزدماسنجی به‌دست آمده در حدود ۳۸۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد است و در واقع دمای نهشت کانه در همین مرحله است، و نزدیک به گستره دمایی اسکارن‌های کلسیکی است این کانه بیشتر محصول دگرسانی گارنت است.

نفوذ توده گرانیتی و دگرگونی مجاورتی، بستر مناسبی برای نهشت مجموعه کانی‌های سیلیکاتی کلسیمی بدون آب از جمله گارنت (گروسولار - آندرادیت) و پیروکسن (دیوپسید - هدنبرژیت) در زون اسکارنی فراهم کرده است. گارنت‌های منطقه سرویان مانند دیگر گارنت‌های اسکارن‌های آهن غنی از گروسولار و آندرادیت بوده و پدیده‌ی منطقه بندی که متأثر از تغییرات فیزیکی و شیمیایی محیط از جمله تغییرات ناشی از اسکارن‌زایی نوع پیشرونده و پسرونده است، به صورت منطقه-بندی شیمیایی در آن‌ها مشاهده می شود. این گارنت ها علاوه بر منطقه بندی شیمیای، دارای منطقه‌بندی فیزیکی مشخصی نیز هست که در این حالت بلورهای گارنت در میکروسکوپ دارای نواربندی‌های با رنگ‌های روشن و تیره‌تر مشخصی هستند. این منطقه‌بندی فیزیکی خود می‌تواند در اثر منطقه-بندی شیمیایی و تغییرات مقدار عناصر از مرکز به حاشیه بلور باشد. هسته‌ی گارنت‌هایی که دارای منطقه‌بندی هستند، غنی از گروسولار و بخش‌های حاشیه‌ای غنی از آندرادیت هستند. پیروکسن‌های منطقه از نوع دیوپسید – هدنبرژیت‌اند که همخوان با پیروکسن‌های اسکارن‌های کلسیکی آهن هستند. براساس شواهد موجود و بررسی‌های انجام شده، دمای اسکارن سرویان در مرحله پیشرونده که کانی‌های بی‌آب مانند پیروکسن و گارنت تشکیل می‌شوند، در گستره‌ی گرمایی آلبیت - اپیدوت هورنفلس و هورنبلند هورنفلس است. و بر اساس دماسنج زوج کانی گارنت - کلینوپیروکسن برای این مرحله دمایی بین ۳۷۰-۵۵۰ درجه سانتیگراد را پیشنهاد می-کنیم. اما در مرحله پسرونده اسکارن و با استفاده از بررسی‌هایی که روی شاره‌های درگیر رگه‌های حاوی کانه انجام گرفت، دمای این مرحله بین۴۰۰ تا ۳۸۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد که در این مرحله کانه‌زایی آهن صورت گرفته است. در واقع این دما، حداقل دما را در مرحله پسرونده آغازین را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] Einaudi M.T., Meinert L. D., Newberry R. J., *"Skarn deposit"*, Economic Geology, 75th Anniv (1981) 317-391.

[2] Pirajno F., *"Hydrothermal Mineral Deposits"*, Speringer-Verlag(1992) 709.

[3] Lindsley D. H., *"Pyroxene thermometry"*, American Mineralogist68 (1983) 477-493.

[۴] قلمقاش ج.، باباخانی ع.ر.، *" نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک"*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.(۱۳۷۹)

[۵] بارانی ن.، زمانیان ح.، زارعی ر.، پازوکی ا.، *"زمین شناسی اقتصادی کانسار آهن سرویان،دلیجان (استان مرکزی)"*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه لرستان (۱۳۹۲).

[۶] سجادي ف.، *"مطالعه پترولوژي، فسيل شناسي و چينه شناسي محدوده بين نطنز و اردستان (ايران مركزي)"*، پایان نامه فوق لیسانس دانشگاه تهران(۱۳۷۱).

[7] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[8] Meinert L. D., *"Skarns and skarn deposits"*, Geoscience Canada 19 (1992) 145-162.

[9] Meinert L.D., *"Skarn zonation and fluid evalution in the Groundhog Mine, Central Mining District, New Mexico"*, Economic Geology 82 (1989) 523-545.

[۱۰] مسعودی ف.، مهرابی ب.، فرازدل ف.، *"نوع ساختمان منطقه ای گارنت در اسکارن های توده نفوذی قهرود، جنوب کاشان"*، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، سال سیزدهم، شماره ۱، بهار و تابستان۱۳۸۴، ص ۶۰-۴۳.

[11] Yang P., Pattison D., *"Genesis of monazite and Y zoning in garnet from Black Hills, South Dakota"*, Journal of Lithos 88 (2009) 233-253.

[12] Jamtviet B., *"Oscillatory Zonation Patterns in hydrothermal grossular-andradite garnet, Nonlinear behavior in regions of immiscibility"*, American Mineralogist 76 (1991) 319- 1327.

[13] Amthauer G, Rossman G. R., *"The hydrous component in andradite garnet"*, American Mineralogist 83 (1998) 835- 840.

[14] Morimoto N., Kitamura M., *"Q-J diagram for classification of pyroxenes"*, Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists (in Japanese) 78 (1983) 141.

[15] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *"An introduction to the rock forming minerals: Second edition"*, Longman Scientific and Technical (1992). 696.

[16] Nash J.T., Theodor A., *"Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration; United States Geological Survey* professional 107(1971) 907-923.

[17] Roedder E., *"Fluid inclusions"*, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America 12 (1984) 644.

[18] Hass J.I., *"The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure"*, Economic Geology 54 (1971) 940-946.

[19] Kendy G.C., *"Pneumatolysis and the liquid inclusion method of geologic thermometry"*, Economic Geology 45 (1950) 533-547.

[20] Wilkinson J.J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits"*, Lithos 25 (2001) 229-279.

[21] Davidson GJ, Davis BK., *"Some controls on oxidation state variation of oxide Cu–Au systems"*, Mineralogical Society of America 33 (2007) 358-372.

[۲۲] ترابی ق.، نوربهشت ا.، شیردشت‌زاده ن.، پیرنیات.، *"زمین دماسنجی اسکارن موجود در افیولیت ملانژ نایین(استان اصفهان)"*، مجله بلور و کانی شناسی ایران شماره ۲ (۱۳۸۶) صفحه ۳۷۵-۳۸۳.

[۲۳] شیخی ف.، اعلمی نیا ز.، طباخ شعبانی ا، ع.، *"زمین دماسنجی اسکارن سر انجیرک (جنوب غرب قروه استان کردستان)"*، مجله بلور و کانی شناسی ایران(۱۳۹۱) شماره ۲۰ صفحه ۳۴۳-۳۵۴

[۲۴] ساکی ع.، پورکاسب ه.، *"مطالعه شرایط فیزیک و شیمیایی تشکیل اسکارن ها در همبری باتولیت الوند با سنگ های آهکی دگرگون شده، همدان، غرب ایران"*، مجله زمین شناسی اقتصادی (۱۳۹۱) شماره ۱، صفحه ۱۲۳ تا ۱۳۴.

[25] Krogh E. J., *"The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer-a reinterpretation of existing experimental data"*, Contributions to Mineralogyand Petrology 99 (1988) 44-48.

[26] Krogh E. J., *"The garnet-clinopyroxene Fe+2-Mg geothermometer & an updated calibration"*, Journal of Metamorphic Geology 18 (2000) 211-219.

[27] Ellis D. J., Green D. H., *"An experimental study of the effect of Ca upon the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 71 (1979) 13 -22.

[28] Powell R., *"Regression diagnostics and robust regressionin geothermometer/geobarometer calibration: the garnet clinopyroxenegeothermometer revisited"*, Journal of Metamorphic Geology 2 (1985) 33-42.

[29] Raheim A., Green D. H., *"Experimental determination of the temperature and pressure dependence of the Fe-Mg partition coefficient for coexisting garnet and clinopyroxene"*,

[33] Sokolov G.A., Grigor'ev V.M., *"Deposits of iron, in Smirnov, V.I., ed., Ore deposits of the U.S.S.R"*, London, Pittman1 (1977) 7-113.

[34] Rose A. W., Burt D. M., *"Hydrothermal alteration In H. L. Barnes, Ed.",* Geochemistry of Hydrothermal ore Deposits, John wiley and sons 17 (1979) 173-235.

[35] Einaudi and Burt., *"introduction, Terminology- classification and composition of skarn deposite",* Economic Geology 77 (1982) 445-455.

[36] Zharikov V.A., *"Skarns: Part I., II and III, Int'l"*, Geology Review 12 (1970) 760 -775.

Contributions to Mineralogy and Petrology 48 (1974) 179–203.

[30] Nakamura D., Hirajima T., *"Exprimental evaluation of garnetclinopyroxene geothermometery as applied to eclogites",* Contributions to Mineralogy and Petrology 150 (2005) 581-588.

[31]Li Li H, Kuang X, Mao A, Li Y, Wang S., *"Study of local structures and optical spectra for octahedralFe3 + centers in a series of garnet crystals A3B-2C3O12 (A = Cd, Ca; B = Al, Ga, Sc, In; C = Ge, Si) ",* Journal of Chemical Physics Letters 484 (2010) 387–391.

[32] Winkler H., *"Petrogenesis of Metamorphic Rocks"*, New York: Springer (1976).